



16. Jahrgang 1984

6

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen  
Organ für die **gesamte** Entsorgung und Abfallwirtschaft

Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) – Mitteilungen des  
Arbeitskreises für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.v. (ANS)  
Herausgeber u. Verlag: Erich Schmidt Verlag GmbH Berlin · Bielefeld · München

DK 628.4.04 – 404 : 631.862.2 : 628.336.61/.62

Flüssige Abfallstoffe – Flüssigmist – Biogaserzeugung  
liquid wastes – liquid manure – biogas production  
déchets liquides – purin – production du gaz de boue

Baader, Wolfgang, und Kloss Rolf

**Systeme zur Biogaserzeugung aus Flüssigmist**

Müll und Abfall, 16. Jg. (1984), Heft 6, Seite 178–183

Bei einer weiteren Verteuerung fossiler Energieträger wächst die Bedeutung von Verfahren zur Bereitstellung von Energie aus organischen Abfallstoffen und nachwachsender Biomasse. Für die Gewinnung von methanreichem Brenngas aus feuchten und flüssigen organischen Ausgangsstoffen ist die anaerobe Behandlung ein geeigneter Weg.

Außer im kommunalen Bereich kann das Verfahren insbesondere auch in der Landwirtschaft eingesetzt werden, da die in der Tier- und Pflanzenproduktion anfallenden Reststoffe sich hervorragend zur Biogasgewinnung eignen. Die gleichzeitig mit dem anaeroben Abbau erreichbare Verminderung des Geruchs und die Verbesserung des Düngewertes der Gärreste sind weitere Vorteile des Verfahrens.

Je nach Tierart und Aufstallungsform variieren bei der Tierhaltung die stofflichen und betriebstechnischen Rahmenbedingungen. Dies erfordert an die jeweilige Situation angepasste Systeme.

Es wird der derzeitige Stand der Technik dargestellt und auf Entwicklungslinien hingewiesen.

# Systeme zur Biogaserzeugung aus Flüssigmist

Von Prof. Dr. Ing. Wolfgang Baader und Rolf Kloss

## 1. Einleitung

Die Biogastechnik hat in der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland bereits in den Jahren unmittelbar nach 1945 starke Beachtung gefunden. Aufgrund der günstigen Preisentwicklung bei Mineraldünger und Energie, andererseits aber auch wegen technischer Probleme, verbunden mit hohen Instandhaltungskosten, waren 1958 nahezu alle der etwa 30 in dieser ersten Periode erstellten Anlagen stillgelegt worden.

1978 setzten dann erneut, zunächst zögernd, bald aber – auch Dank staatlicher Fördermaßnahmen – in immer stärkerem Maße Aktivitäten ein, in deren Folge die Anzahl der in landwirtschaftlichen Betrieben installierten Anlagen stark anstieg.

Etwa 70 % der Ende 1983 etwa 100 in der Bundesrepublik in Betrieb befindlichen landwirtschaftlichen Anlagen sind von Industrie- bzw. Ingenieurfirmen, die restlichen in Eigenleistung der Landwirte – sehr oft unter Mitwirkung örtlicher Handwerker – erstellt worden.

Bereits aus der ersten Entwicklungsperiode lagen praktische Erfahrungen mit verschiedenartigen Anlagen, aber auch umfangreiche Kenntnisse über die biologischen Zusammenhänge und über die funktionellen und konstruktiven Bedingungen vor, die zur Umsetzung des biologischen Prozesses in ein technisches Verfahren erforderlich sind. Diese Voraussetzungen, der zwischenzeitlich erfolgte Wissenszuwachs im Bereich der Mikrobiologie sowie neue Fortschritte und Erkenntnisse in der Verfahrenstechnik führten in kurzer Zeit zu einem verhältnismäßig hohen Entwicklungsstand der landwirtschaftlichen Biogasanlagen.

Aus den Anstrengungen heraus, die Kosten der Anlagen zu senken und deren Funktion und Leistungsfähigkeit zu verbessern, und wegen der unterschiedlichen betrieblichen Randbedingungen (z. B. im Hinblick auf Art und Beschaffenheit der verfügbaren Rohstoffe) ergab sich eine Vielzahl von Bauarten und Ausführungsformen.

## 2. Bestimmungsgrößen

Die Gestaltung des anaeroben Verfahrens zur Behandlung von Flüssigmist wird durch die

- Bedingungen, die zur Sicherstellung des biologischen Abbauprozesses erfüllt sein müssen,
- chemischen und physikalischen Stoffeigenschaften des Flüssigmistes und durch
- betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen

bestimmt.

### 2.1 Prozeßbedingungen

Neben dem absoluten Luftabschluß sind als wichtigste Voraussetzungen für eine schnelle und ertragreiche Umsetzung der anaerob abbaubaren organischen Substanz zu Methan eine konstante Prozeßtemperatur sowie eine Mindestdurchflußzeit des Substrats im Reaktionsbereich zu nennen. Letztere hängt von der Reaktionsgeschwindigkeit in den einzelnen aufeinanderfolgenden Schritten des Abbauprozesses

ab, die je nach stofflicher Zusammensetzung des Substrates sehr unterschiedlich sein kann.

Eine zu starke Verkürzung der Verweilzeit kann zu einem unvollständigen Abbau und bei hoher Stoffkonzentration, besonders an leicht abbaubaren Stoffen, auch zur Übersäuerung und damit zum Erliegen der Methanbildung führen. Bei Flüssigmist überwiegt jedoch aufgrund des vorangegangenen Verdauungsprozesses der Anteil schwerer abbaubarer Stoffe. Der Nachteil in einer Verkürzung der Durchflußzeit ist deshalb weniger in der Gefahr der Versäuerung als vielmehr in dem unvollständigen Abbau an organischer Substanz und damit eng verknüpft in der geringeren auf die tägliche Zugabemenge bezogenen Methanmenge zu sehen. Eine hohe Methanausbeute aber ist eine wesentliche Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb.

### 2.2 Stoffeigenschaften

Die chemische Zusammensetzung der tierischen Stoffwechselprodukte bietet günstige Voraussetzungen für den Methanbildungsprozeß. Allerdings können im Flüssigmist enthaltene Antibiotika und Stalldesinfektionsmittel die Gasproduktion hemmen [1].

Für die Wahl des Reaktorsystems und für die Betriebssicherheit einer Biogasanlage von entscheidender Bedeutung ist die physikalische Beschaffenheit des Flüssigmistes, die sich hinreichend beschreiben läßt durch die

- Dichte der flüssigen, kontinuierlichen Phase,
- Konzentration an suspendierten Feststoffen,
- Dichte, Größe, Form und Masseverteilung dieser Feststoffpartikel.

Die physikalische Beschaffenheit beeinflusst die Fließeigenschaften des Gärmediums und bestimmt das Entmischungsverhalten von suspendierten Feststoffen unterschiedlicher Dichte, den Strömungswiderstand an Führungsflächen sowie die Auftriebsgeschwindigkeit und Größe der beim Gärprozeß entstehenden Gasblasen.

Trennvorgänge wie Flotieren, verursacht durch Anlagerung von Gasblasen an Feststoffpartikel oder durch Gasbildung und -einschluß in Partikelhohlräumen sowie Aufschwimmen von Feststoffen, die gegenüber der kontinuierlichen Phase geringere Dichte aufweisen, können zur Bildung einer Schwimmschicht führen. Durch diese kann das geregelte Abfließen von Faulgut aus dem Reaktor behindert werden.

Darüber hinaus sammeln sich auf diese Weise im Faulraum anaerob nicht abbaubare Stoffe, was zu einer Verringerung des Reaktionsvolumens führt.

### 2.3 Betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Faktoren

Ausgehend von den örtlich vorgegebenen betriebstechnischen Randbedingungen

- Anfall von Flüssigmist nach Zusammensetzung, Menge und zeitlicher Verteilung,
- erzielbare Gasmenge,
- Energieeigenbedarf der Anlage,

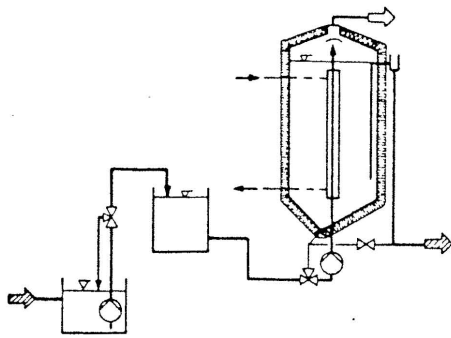


Bild 1 a Hauptströmungsrichtung abwärts mit vollständiger Umwälzung, 50 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag über einen zentral angeordneten Doppelmantelrohrwärmetauscher (Bauart Agro-Fermenttechnik)

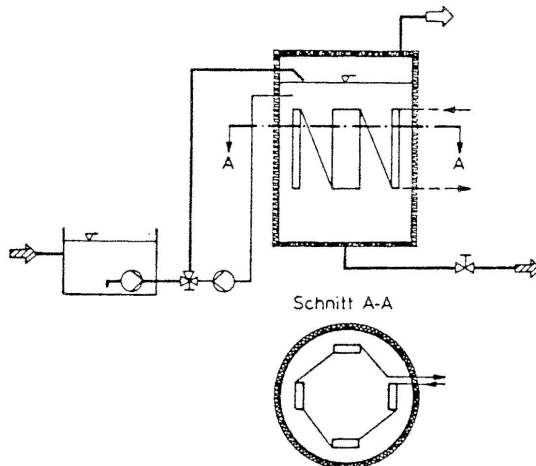


Bild 1 b Hauptströmungsrichtung abwärts mit teilweiser Umwälzung, 120 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag mittels großflächig im Faulrauminneren angebrachter Heizplatten (Bauart WLZ)

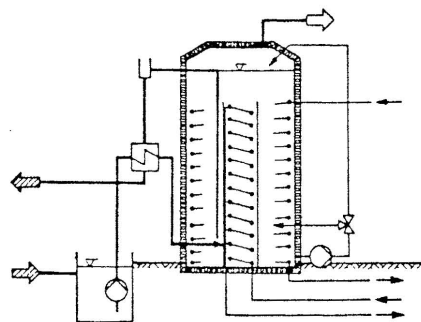


Bild 1 c Aufwärts durchströmter Innenzylinder, abwärts durchströmter Außenzylinder mit vollständiger Umwälzung, 95 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag über wendelartig an den Mantelflächen angebrachten Heizschlangen (Bauart Ökotherm)

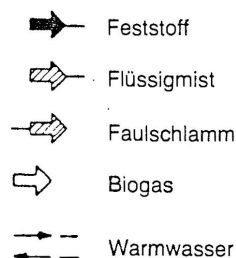


Bild 1 Vertikal durchströmte Reaktoren mit hydraulischer Umwälzung

- Zuordnung der Anlage zu Betriebsgebäuden,
- Verfügbarkeit von Bau- und Anlagenelementen,
- Gasnutzungsmöglichkeiten,
- Verwendung des Faulschlammes,

sind bei der Entscheidung, welcher der den biologischen und physikalischen Forderungen genügenden technischen Lösungsalternativen der Vorzug zu geben ist und welche Größe, Betriebsweise und Ausstattung der Anlage gewählt werden sollen, letztlich ökonomische Kriterien ausschlaggebend.

So kann im Hinblick auf ein besseres wirtschaftliches Gesamtergebnis im Einzelfall durchaus die Forderung zu erheben sein, die Anlage in technischer Hinsicht mit möglichst einfachen Mitteln auszustatten oder auf eine möglichst hohe Methanproduktion der Anlage zu verzichten.

### 3. Stand der Technik

Die Mehrzahl der in der Bundesrepublik installierter Anlagen arbeiten nach dem Durchflußprinzip mit weitgehender Durchmischung des Gärmediums. Sie haben das früher auf dem Markt der Fünfziger Jahre dominierende Wechselbehältersystem völlig verdrängt. Daneben werden in Sonderfällen auch nach dem Speicherverfahren arbeitende Anlagen eingesetzt. Der Grund für diese Entwicklung ist vornehmlich in einer Reduktion des Bauaufwandes beim Durchflußsystem gegenüber dem Wechselbehältersystem bei gleichzeitig höherer Leistungsabgabe zu sehen.

Zur weiteren Verringerung der Baukosten haben einige Hersteller bereits Anlagensysteme entwickelt, die jeweils nur auf ganz bestimmte Substratarten zugeschnitten sind. Man bezweckt damit, die zur Behandlung der jeweiligen Substrate erforderlichen technischen Maßnahmen auf ein Minimum zu reduzieren sowie auch mehrere verschiedene Funktionen wie Wärmeeintrag, Rückführung und Vermischung eines Teilstromes der aus dem Reaktor ausgewaschenen Mikroorganismen mit dem Frischsubstrat zu dessen Beimpfung und die Kontrolle der Schwimm- und Sinkschichten mit nur einem einzigen Aggregat zu bewältigen (vgl. Bild 1 a).

Der technische Aufwand für eine sichere Durchleitung des Gärmediums durch den Reaktor und für eine kontrollierte, möglichst optimale Prozeßführung ergibt sich aus den jeweiligen Substrateigenschaften im Hinblick auf das Fließ- und Entmischungsverhalten und auf die mikrobielle und chemische Zusammensetzung des Substrats. Gemäß Tafel 1

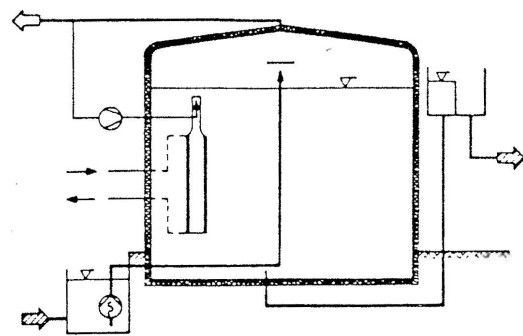


Bild 2 In vertikaler Hauptrichtung abwärts durchströmter Reaktor mit Umwälzung des Faulrauminhaltes durch Gaseinpressung über drei Mammutpumpen, deren Leitrohr als Wärmeaustauscher ausgebildet ist; Reaktionsvolumen 490 m<sup>3</sup> (Bauart Henze-Harvestore)

Tafel 1 Klassifikation der wichtigsten Flüssigmistarten nach ihrem Fließverhalten im Faulbehälter

Klasse	Konsistenz	Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht	Sinkschicht	Flüssigmistart
I	dünnflüssig	gering	gering	Schweine- und Kälberflüssigmist
II	dünnflüssig	stark	gering	unverdünnter Rinder- und Bullenflüssigmist ohne Stroh
III	dünnflüssig	gering	stark	Schweineflüssigmist mit Stroh
IV	dickflüssig	keine	gering	Rinderflüssigmist mit Stroh
V	dickflüssig	gering	gering	verdünnter Hühnerflüssigmist
				unverdünnter Rinder- und Bullenflüssigmist ohne Stroh
				unverdünnter Rinder- und Bullenflüssigmist mit Stroh

Tafel 2 Bauarten von Reaktoren landwirtschaftlicher Biogasanlagen und deren Eignung für verschiedene Substrate (vgl. Tafel 1)

Reaktortyp	Umwälzsystem	Beispiele (Hersteller) <sup>1</sup>	Eignung für Substrat Klasse
stehender Tank	Gaseinpressung, ohne Leitrohr	Steinmann u. Ittig [3] GAE [4]	I, IV
	Gaseinpressung, mit Leitrohr	Henze-Harvestore (Bild 2) [2] Agro-Fermenttechnik [5]	I, IV
	hydraulisch	Agro-Fermentt. (Bild 1 a) [2] WLZ (Bild 1 b) [2] Ökotherm (Bild 1 c) [2] Gebken [2]	I, III, IV
	hydraulisch, stoßweiser Rückfluß von zuvor durch Gasdruck auf höheres Niveau gebrachter Flüssigkeit	Müller (Wallner) [4] Barth [6] BVT/Manahl (Bild 3) [2]	I, IV I, III <sup>2</sup> , IV
	mechanisch, mit Leitrohr ohne Umwälzung	FAL (Bild 4) [7] Böse (Bild 5) [2]	I, II, III, IV, V IV
liegender Tank	mechanisch	Lipp (Bild 6 a) [2] FIMA [5, 6] Ökoplan (Bild 6 b) [2] Steinmann u. Ittig [6]	I, II, III, IV, V I, II, IV, V I, IV
		Probst [4]	
		UTEC [8]	IV

<sup>1</sup> Stand Ende 1982 gemäß [2]<sup>2</sup> Ausführung mit Sinkschlammabzug

lassen sich 5 Substratklassen definieren, die nahezu alle in der Praxis auftretenden Fälle abdecken.

Für Reaktoren mit vollständiger Durchmischung des Gärmediums können im Prinzip alle Behälterformen gewählt werden. Für deren Auswahl jedoch ist nicht nur der Aufwand für den Behälter selbst, sondern auch für die von der Behälterform wesentlich mitbestimmte Mischeinrichtung entscheidend.

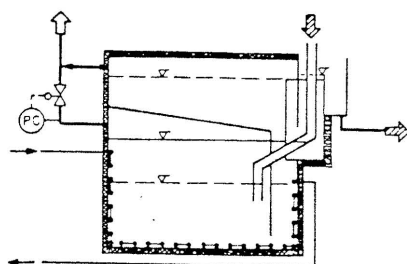


Bild 3 In drei Kammern untergliederter Faulbehälter mit einer durch periodischen Gasdruckausgleich zwischen den verschiedenen Kammern induzierten Umwälzung, Reaktionsvolumen 250 m³, Wärmeeintrag über im Bereich der benetzten Wandflächen der Hauptgärkammer in der Wandung verlegte Heizschlangen (Bauart BVT/Manahl)

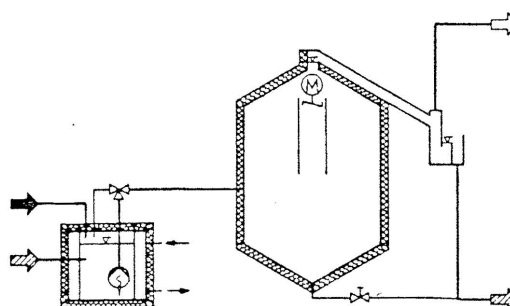


Bild 4 In vertikaler Hauptrichtung aufwärts durchströmter, vollständig gefüllter Reaktor mit teilweiser Umwälzung während der Zugabe über abwärts fördernden Propeller, Reaktionsvolumen 100 m³, Wärmeeintrag in Vorgrube (Bauart FAL)

Welche Mittel zum Bewegen des Fluids im Einzelfall eingesetzt werden sollen, hängt nicht nur von seinem Fließverhalten ab (Einfluß von z. B. Viskosität, Dichteunterschiede, Gasblasenauftrieb), sondern in starkem Maße auch von der Form und der Größe des jeweils zu erfassenden Raumes (Ort und Intensität des Impulseintrags, Impulsverteilung, Energiebedarf). Zu berücksichtigen sind ferner die Betriebs-



Tafel 3 Auslegung beheizter Reaktoren mit ca. 100 m<sup>3</sup> Faulrauminhalt bei typischen Rahmenbedingungen für den Nutzungsgrad  $n$  der bereitstellbaren Netto-Energie (Energieangebot) und Deckungsgrad  $d$  des Energiebedarfs von Verbrauchern (ohne Eigenbedarf der Anlage)

Rahmenbedingung	Auslegungsgrößen	Auslegung Schweine- oder Hühner- flüssigmist mit und ohne Grünpflanzen	Rinderflüssigmist mit und ohne Stroh
<b>A</b> Energieangebot geringer als Energiebedarf $n = 1,0$ ; $d < 1,0$	Durchflußzeit Trockensubstanzgeh. entspr. einer auf TS bez. Raumbelastung Prozeßtemperatur Wärmedurchgangszahl a. Reakt.-Vol. bez. Reaktoroberfläche min. Frischsubstrat- Temperatur Substratdurchsatz	$d$ % kg/m <sup>3</sup> d °C W/m <sup>2</sup> K m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> °C –	20 6– 9 3– 4,5 28–30 0,2–0,3 möglichst klein 15 voll
<b>B</b> Energieangebot gleich Energiebedarf $n = 1,0$ ; $d = 1,0$	wie unter A		25–30 8–12 2,5–5 30–35 0,2–0,3 möglichst klein 5 voll
<b>C</b> Energieangebot größer als Energiebedarf a) $0,9 < n < 1,0$ ; $d = 1,0$ b) $n < 0,9$ ; $d = 1,0$ c) $n < 0,9$ ; $d = 1,0$	wie unter A wie unter A, oder bereits kürzere Durchflußzeit wie unter A, oder zusätzlich Teilstromdurchfluß geringere bzw. keine Wärmedämmung des Reaktors		
<b>D<sup>1</sup></b> Energieangebot und Energie- bedarf zeitweilig wechsel- seitig ungleich a) $0,6 \leq n < 1,0$ ; $0,85 \leq d < 1,0$ b) $n < 0,6$ ; $d < 0,85$	wie unter A wie unter C, c)		

<sup>1</sup> Die Auslegungshinweise in Fall D gelten nur, wenn der Energiebedarf überwiegend aus der Gebäudeheizung resultiert.

sicherheit (Verstopfungsgefahr, Abrieb) und die Zugänglichkeit bei Wartung und Instandsetzung.

Zum Impulseintrag können die Gaseinpressung, mechanische Rührer, Pumpen oder auch die Bewegungsenergie eines von einem höheren Niveau freigegebenen Flüssigkeitsstromes in Frage kommen.

Die Gaseinpressung bietet den Vorteil, daß der Impulseintrag nahezu beliebig über einen Behälterquerschnitt verteilt werden kann. Da die Impulswirkung nur aufwärts gerichtet ist, eignet sich diese Methode in erster Linie zur Vermeidung von Absetzerscheinungen und zum Durchmischen von Fluiden, die keine oder nur sehr wenig zum Flotieren neigende Feststoffe enthalten.

Sind jedoch solche Stoffe in höherer Konzentration vorhanden, so ist dafür zu sorgen, daß diese von der Flüssigkeitsoberfläche wieder in tiefere Schichten gebracht werden.

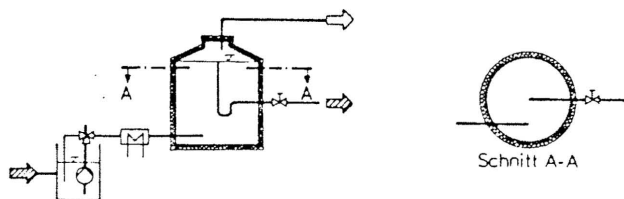


Bild 5 In vertikaler Hauptrichtung aufwärts durchströmter Reaktor ohne Rührvorrichtung, Reaktionsvolumen 20 m<sup>3</sup>, Wärmeeintrag durch Vorerwärmung in einem der Anlage vorgeschalteten Doppelmantelrohrwärmetauscher (Bauart Böse)

Tafel 4 Methanertrag aus der Trockensubstanz (TS) der Zugabe in Abhängigkeit von der Durchflußzeit unter den Auslegungsbedingungen von Tafel 3, Fall A

Substratart	Durchfluß- zeit $d$	auf TS bez. Methanmenge 1/kg
Schweineflüssigmist	20	200
Hühnerflüssigmist	20	200
Grünpflanzen	20	200
Rinderflüssigmist	30	160
Stroh	30	160

Hierzu sind entweder abwärtsgerichtete Strömungen erforderlich, die den Auftriebskräften entgegenwirken (Flüssigkeitsstrahl, Schlaufenströmung über Leitrohr und Propeller, hydraulische Umwälzung), oder die Schwimmstoffe werden mit mechanischen Mitteln in das Fluid eingemischt.

Da die Entmischungsneigung der Substratkomponenten mit abnehmendem Anteil an freiem Wasser zurückgeht, sind bei Substraten mit hohen Gehalten an Kolloiden und feinteiligen suspendierten Feststoffen (z. B. unverdünnter Rinderflüssigmist) weitaus weniger Probleme bezüglich Schwimmdeckenbildung zu erwarten als bei dünnflüssigen, grobstoffhaltigen Substraten (z. B. strohhaltiger, unverdünnter Rinder- oder Schweineflüssigmist).

Tafel 2 gibt eine Übersicht über charakteristische in der

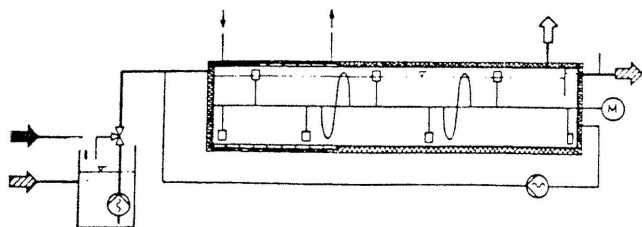


Bild 6 a Paddelrührwerk mit schraubenförmigen Flächen zur Raumteilung in 3 Kammern, 62 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag im ersten Drittel des Einlaufbereichs der Anlage durch eine doppelwandige, spiralförmig durchflossene Mantelinnenfläche. Schlammrückführung, Rührfrequenz 1,5 U/min (Bauart Lipp)

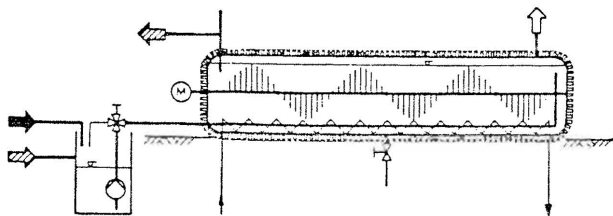


Bild 6 b Stabwendlrührwerk, 60 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag mit Vorerwärmung des Substrates über schlaufenartig im Reaktorbodenbereich angeordnete Heizschlangen, Rührfrequenz 3 U/min (Bauart Ökoplan/Hemme)

Bild 6 Horizontal durchströmte Reaktoren mit langsam rotierendem mechanischem Rührwerk

landwirtschaftlichen Praxis eingesetzte Reaktorbauarten (vgl. auch Bild 1 bis 6) sowie deren Eignung für die verschiedenen Substratarten.

#### 4. Entwicklungslinien

Die gegenwärtige Anlagenentwicklung ist durch eine konsequente weitere Anpassung der Reaktoren an die jeweiligen Substrateigenschaften gekennzeichnet. Allmählich setzt sich dabei u. a. die Erkenntnis durch, daß zur Bewältigung von Substraten der Klasse IV auf eine Einrichtung zur Reaktordurchmischung völlig verzichtet werden kann, ohne daß es hierdurch zu einer Leistungseinbuße kommt.

Neuere Reaktortypen mit höherer, volumenbezogener Leistungsabgabe (Umsatzleistung) – wie Festbett- oder Wirbelbettssysteme – sind gegenwärtig weder Stand der Technik noch zeichnen sich Entwicklungstendenzen in dieser Richtung ab. Für landwirtschaftliche Substrate befinden sie sich derzeit noch im Stadium der Forschung und Entwicklung.

Obleich auch bei der Prozeßführung weitere Fortschritte zu erwarten und auch wünschenswert sind, um vor allem kürzere Gärzeiten und höhere Energieausbeuten aus dem Rohstoff zu erreichen, gilt inzwischen das Hauptinteresse bei der technischen Weiterentwicklung der Senkung der Investitionskosten.

Die Anlagenkosten liegen je nach Größe und Ausführung zwischen 1000 bis 2000 DM je an die Anlage angeschlossene GV (500 kg Lebendgewicht). Bei mesophil betriebenen Anlagen sind dies 1000–2000 DM/m<sup>3</sup> Faulraumvolumen. Im Hinblick auf eine weitere Verbreitung des Verfahrens sowie gute Anlagenwirtschaftlichkeit sind 1000 DM/m<sup>3</sup> anzustreben. Dieser Wert wird bereits verschiedentlich unterschritten.

Weitere Ansätze zur Kostenreduktion sind insbesondere bei Stallneubaumaßnahmen in Anlagenbauarten zu erkennen, die sich optimal in das Entmistungssystem integrieren lassen. Auch wird neuerdings auf Gas- oder Wärmespeicher verzichtet, da diese nicht wirtschaftlich arbeiten [9]. Dies setzt allerdings eine gute Regelung und Steuerung des Energieverbundes zwischen Anlage und Verbraucher voraus.

#### 5. Anlagenplanung und Wirtschaftlichkeit

Wenn in zahlreichen Fällen der praktische Nutzen einer Anlage nicht den Erwartungen des Betreibers entsprach, so ist dies in der Regel auf eine ungenügende Planung zurückzuführen, bei der zuwenig auf eine sorgfältige Abstimmung von technischem Aufwand, Gasproduktionsleistung und Gasnutzungsgrad unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden betrieblichen Bedingungen geachtet wurde.

Die Komplexität der Zusammenhänge zwischen den zahlreichen Einflußgrößen, die bei der Planung einer Biogasanlage berücksichtigt werden müssen, wenn diese – unter Beachtung einer technisch-wirtschaftlichen Optimierung – als ökonomisch arbeitendes System einem landwirtschaftlichen Betrieb zugeordnet werden soll, zwingt zu einer systematischen Vorgehensweise bei der Planung. Hierfür stehen inzwischen geeignete Strategien und Rechenmodelle zur Verfügung [10]. Diese sind verhältnismäßig einfach zu handhaben und lassen sich z. T. in Tischrechnern einsetzen. Zur Vordimensionierung einer Anlage kann man sich von den in Tafel 3 aufgeführten Bemessungswerten leiten lassen. Die in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht optimale Lösung läßt sich jedoch erst nach mehreren weiteren Iterationsschritten ermitteln.

Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsanalysen zeigen, daß die Biogaserzeugung aus tierischen Ekrementen unter den gegebenen betriebsstrukturellen und zu erwartenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen durchaus eine Bedeutung gewinnen kann, wenn eine leistungsfähige und kostengünstige, auf die jeweiligen Bedingungen abgestimmte Anlagentechnik bereitgestellt und nur unter solchen Betriebsbedingungen eingesetzt wird, die eine Wirtschaftlichkeit erwarten lassen [11].

Beachtet man diese Grundsätze nicht, so besteht die Gefahr, daß die Zukunftsperspektiven für das Biogasverfahren in der Landwirtschaft aufgrund der bei der Planung bisher errichteter Anlagen begangenen Fehler und der daraus resultierenden Fehlinvestitionen ungünstiger eingeschätzt werden, als sie es bei Berücksichtigung der tatsächlichen Möglichkeiten und Grenzen sind.

#### Literatur:

- [1] Winter, J. et al.: Biogaspotential, Prozeßstabilität und Hygienisierung bei der mesophilen und thermophilen Vergärung von Schlämmen. In: Baader (Hrsg.): 2. Biogasfachgespräch des Instituts für Technologie der FAL, S. 7–21, Braunschweig, 1983.
- [2] Baader, W., Kloss, R.: Assessment of biogas-installations in the Federal Republic of Germany. – Bericht zum EEC-Projekt ES-E-R-0151-D (N) für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Braunschweig, 1982.
- [3] Loll, U.: Technik und Ökonomie einer großen Landwirtschaftlichen Biogasanlage. *gwf-gas/erdgas*, 124 (1983), Nr. 8, S. 395–398.
- [4] Perwanger, A.: Technische Neuentwicklungen landwirtschaftlicher Biogasanlagen. *Korrespondenz Abwasser* 30 (1983), Nr. 6, S. 406–414.
- [5] Sutor, K.-H.: Musterhof Liebenau. Ergebnisbericht z. BMFT-Forschungsvorhaben ET 5319 d, Stiftung Liebenau, 1983.
- [6] Loll, U.: Biogasgemeinschaftsanlage Quickborn. Informationsbroschüre, 11 S., Darmstadt 1983.
- [7] Baader, W.: Erste Erfahrungen mit einem vollständig gefüllten, vertikal

- durchströmten Biogasgenerator. Grundlagen Landtechnik, 31 (1981), Nr. 2, S. 50–55.
- [8] Kopiske, G., Eggersglüß, H.: Psychrophile digestion systems in practice. In: BORDA (Hrsg.): Biogas-Forum (1983), Nr. 12, S. 1–4.
- [9] Geyer, U.: Untersuchungen zur wirtschaftlichen Energiespeicherbemessung bei Biogasanlagen. Diplomarbeit. Fachhochschule Braunschweig-Wolfenbüttel, 1984.
- [10] Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen nach technisch-wirtschaftlichen Kriterien. In: Fortschritte beim Biogas, KTBL-Schrift 285 (1983), Landwirtschafts-Verlag Münster-Hiltrup, S. 110–119.
- [11] Kleinhanß, W.: Wirtschaftliche Möglichkeiten und Grenzen der Biogaserzeugung. In: Fortschritte beim Biogas, KTBL-Schrift 285 (1983), Landwirtschafts-Verlag Münster-Hiltrup, S. 120–135.

#### **Anschrift der Verfasser:**

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baader, Dipl.-Ing. Rolf Kloss, Institut für Technologie, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Bundesallee 50, D-3300 Braunschweig, Telefon (0531) 596-311

## **Anwendung der Tieftemperatur-Technik beim Recycling von Verbundstoffen**

Von Frank Burmester

### **1. Einleitung**

Steigende Rohstoffpreise zwingen immer mehr dazu, wertvolle Materialien aus Abfallstoffen und Produktionsrückständen zurückzugewinnen. Verfahren der Tieftemperatur-Technik haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen bei Materialien, die bisher aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht aufbereitet werden konnten. Zu dieser »Problem-Gruppe« zählen vor allem die Verbundstoffe. Am Beispiel der Aluminium-Schraubverschlüsse soll das Recycling dargestellt werden.

Die Trennung des Verbundstoffes von Aluminium und PVC-Dichtung ist erforderlich, weil bei der Einschmelzung der Aluminium-Schraubverschlüsse das PVC umweltschädliche Gase, insbesondere Chlor, entwickeln würde. Dies beeinträchtigt die Umschmelzanlage selbst und belastet die Umwelt erheblich.

Nach einer Statistik der Aluminium-Zentrale werden in der Verpackungsindustrie innerhalb der Bundesrepublik Deutschland jährlich ca. 15 000 t Aluminium für die Herstellung von Aluminium-Schraubverschlüssen verbraucht (7). Etwa 70 % der jährlich anfallenden 10 Mrd. Aluminium-Schraubverschlüsse werden erfaßt. Das entspricht einer monatlichen Menge von 800 bis 1000 t Aluminium-Flaschenverschlüssen. Mit Hilfe der Tieftemperatur-Technik werden bereits mehr als 550 t pro Monat aufbereitet. Die restliche Menge wird in das Ausland verkauft, z. B. nach Pakistan.

Bevor auf die Anwendung der Tieftemperatur-Technik näher eingegangen wird, sollen zunächst die Begriffe »Tieftemperatur-Technik« und »Verbundstoffe« kurz erläutert und abgegrenzt werden.

#### **1.1 Was ist Tieftemperatur-Technik?**

Die Tieftemperatur-Technik im hier verwendeten Sinne befaßt sich mit Prozessen, die im Temperaturbereich bis  $-196^{\circ}\text{C}$  ablaufen, also der Siedetemperatur des flüssigen Stickstoffes. Die großtechnische Anwendung der Luftzerlegung stellt den erforderlichen Stickstoff her.

Vor allem der Einsatz von flüssigem Stickstoff (bis  $-196^{\circ}\text{C}$ ) hat sich beim Recycling wertvoller Rohstoffe bewährt.

Andere Kältemittel (wie z. B. Kohlensäure) sind einsetzbar, sofern der Siedepunkt von  $-79^{\circ}\text{C}$  für die vorgesehenen Prozesse ausreichend ist.

Neben dem Stickstoff als Kältemittel werden die zugehörigen Transport-, Lager- und Leitungssysteme sowie verfahrensbedingte maschinelle Einrichtungen benötigt.

Ferner ist eine anwendungstechnische Beratung zweckmäßig, da nur bei optimalen technischen Abläufen die Wirtschaftlichkeit des gesamten Verfahrens gewährleistet ist. Außerdem sind auch sicherheitstechnische Fragen beim Umgang mit flüssigem Stickstoff zu beachten.

#### **1.2 Was sind Verbundstoffe?**

Schwierig wird die Rückgewinnung, wenn Materialkombinationen, sogenannte Verbundstoffe, vorliegen. Da aber in vielen Fällen nur derartige Verbundstoffe in der Lage sind, den speziellen Anforderungen des Marktes zu genügen, kann auf sie nicht verzichtet werden. Das gilt z. B. für Aluminium-Flaschenverschlüsse, in die eine PVC-Dichtung eingeklebt oder eingespritzt ist oder auch für Polystyrol-Joghurt-Becher, die mit einer Aluminiumfolie verschlossen werden. Weitere Verbundstoffe, die mit Hilfe der Tieftemperatur-Technik getrennt werden können, sind z. B.: Al-Fensterprofile mit Pu-kern, Leiterplattenabfälle, Fehlchargen gedruckter Schaltungen, Al-Kunststoff-Fassadenverkleidungen, verchromtes ABS u. v. a. m.

### **2. Anwendung der Tieftemperatur-Technik**

#### **2.1 Vorgänge bei der Anwendung von flüssigem Stickstoff**

Die Stickstoffkälte

- versprödet Kunststoffe und viele Metalle,
- vermindert die Haftfähigkeit von Klebern,
- verursacht unterschiedliche Materialdehnung.

Diese Vorgänge laufen gleichzeitig ab und führen dazu, daß die Verbundstoffe getrennt werden können.

Beispiele für die Anwendung von flüssigem Stickstoff sind Aufbereitungsverfahren für Reifen, Aluminium-Schraubverschlüsse und Elektromotorschrott (Bild 1, 2 und 3).

## Systeme zur Biogaserzeugung aus Flüssigmist

Wolfgang Baader, Rolf Kloss

### Vorspann

Bei einer weiteren Verteuerung fossiler Energieträger wächst die Bedeutung von Verfahren zur Bereitstellung von Energie aus organischen Abfallstoffen und nachwachsender Biomasse. Für die Gewinnung von methanreichem Brenngas aus feuchten und flüssigen organischen Ausgangsstoffen ist die anaerobe Behandlung ein geeigneter Weg.

Außer im kommunalen Bereich wird das Verfahren zu diesem Zweck insbesondere auch in der Landwirtschaft eingesetzt, da die in der Tier- und Pflanzenproduktion anfallenden Reststoffe sich hervorragend zur Biogasgewinnung eignen. Die gleichzeitig mit dem anaeroben Abbau erreichbare Verminderung des Geruchs und die Verbesserung des Düngewertes der Gärrückstände sind weitere Vorteile des Verfahrens.

Je nach Tierart und Aufstallungsform variieren bei der Tierhaltung die stofflichen und betriebstechnischen Rahmenbedingungen. Dies erfordert an die jeweilige Situation angepaßte Systeme.

Es wird der derzeitige Stand der Technik dargestellt und auf Entwicklungslinien hingewiesen.

### 1. Einleitung

Die Biogastechnik hat in der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland bereits in den Jahren unmittelbar nach 1945 starke Beachtung gefunden. Aufgrund der günstigen Preisentwicklung bei Mineraldünger und Energie, andererseits aber auch wegen technischer Probleme, verbunden mit hohen Instandhaltungskosten, waren 1958 nahezu alle der etwa 30 in dieser ersten Periode erstellten Anlagen stillgelegt worden.

- 2 -

1978 setzten dann erneut, zunächst zögernd, bald aber - auch Dank staatlicher Fördermaßnahmen - in immer stärkerem Maße Aktivitäten ein, in deren Folge die Anzahl der in landwirtschaftlichen Betrieben installierten Anlagen stark anstieg.

Etwa 70 % der Ende 1983 etwa 100 in der Bundesrepublik in Betrieb befindlichen landwirtschaftlichen Anlagen sind von Industrie- bzw. Ingenieurfirmen, die restlichen in Eigenleistung der Landwirte - sehr oft unter Mitwirkung örtlicher Handwerker - erstellt worden.

Bereits aus der ersten Entwicklungsperiode lagen praktische Erfahrungen mit verschiedenartigen Anlagen, aber auch umfangreiche Kenntnisse über die biologischen Zusammenhänge und über die funktionellen und konstruktiven Bedingungen vor, die zur Umsetzung des biologischen Prozesses in ein technisches Verfahren erforderlich sind. Diese Voraussetzungen, der zwischenzeitlich erfolgte Wissenszuwachs im Bereich der Mikrobiologie sowie neue Fortschritte und Erkenntnisse in der Verfahrenstechnik führten in kurzer Zeit zu einem verhältnismäßig hohen Entwicklungsstand der landwirtschaftlichen Biogasanlagen.

Aus den Anstrengungen heraus, die Kosten der Anlagen zu senken und deren Funktion und Leistungsfähigkeit zu verbessern, und wegen der unterschiedlichen betrieblichen Randbedingungen (z.B. im Hinblick auf Art und Beschaffenheit der verfügbaren Rohstoffe) ergab sich eine Vielzahl von Bauarten und Ausführungsformen.

## 2. Bestimmungsgrößen

Die Gestaltung des anaeroben Verfahrens zur Behandlung von Flüssigmist wird durch die

- Bedingungen, die zur Sicherstellung des biologischen Abbau-  
prozesses erfüllt sein müssen,
- chemischen und physikalischen Stoffeigenschaften des  
Flüssigmistes und durch
- betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Rahmen-  
bedingungen

bestimmt.

## 2.1 Prozeßbedingungen

Neben dem absoluten Luftabschluß sind als wichtigste Voraussetzungen für eine schnelle und ertragreiche Umsetzung der anaerob abbaubaren organischen Substanz zu Methan eine konstante Prozeßtemperatur sowie eine Mindestdurchflußzeit des Substrats im Reaktionsbereich zu nennen. Letztere hängt von der Reaktionsgeschwindigkeit in den einzelnen aufeinanderfolgenden Schritten des Abbauprozesses ab, die je nach stofflicher Zusammensetzung des Substrates sehr unterschiedlich sein kann.

Eine zu starke Verkürzung der Verweilzeit kann zu einem unvollständigen Abbau und bei hoher Stoffkonzentration, besonders an leicht abbaubaren Stoffen, auch zur Übersäuerung und damit zum Erliegen der Methanbildung führen. Bei Flüssigmist überwiegt jedoch aufgrund des vorangegangenen Verdauungsprozesses der Anteil schwerer abbaubarer Stoffe. Der Nachteil in einer Verkürzung der Durchflußzeit ist deshalb weniger in der Gefahr der Versäuerung als vielmehr in dem unvollständigen Abbau an organischer Substanz und damit eng verknüpft in der geringen auf die tägliche Zugabemenge bezogenen Methanmenge zu sehen. Eine hohe Methanausbeute aber ist eine wesentliche Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb.

## 2.2 Stoffeigenschaften

Die chemische Zusammensetzung der tierischen Stoffwechselprodukte bietet günstige Voraussetzungen für den Methanbildungsprozeß. Allerdings können im Flüssigmist enthaltene Antibiotika und Stalldesinfektionsmittel die Gasproduktion hemmen [ 1 ].

Für die Wahl des Reaktorsystems und für die Betriebssicherheit einer Biogasanlage von entscheidender Bedeutung ist die physikalische Beschaffenheit des Flüssigmistes, die sich hinreichend beschreiben läßt durch die

- Dichte der flüssigen, kontinuierlichen Phase,
- Konzentration an suspendierten Feststoffen,
- Dichte, Größe, Form und Masseverteilung dieser Feststoffpartikel.



Die physikalische Beschaffenheit beeinflusst die Fließeigenschaften des Gärmediums und bestimmt das Entmischungsverhalten von suspendierten Feststoffen unterschiedlicher Dichte, den Strömungswiderstand an Führungsflächen sowie die Auftriebsgeschwindigkeit und Größe der beim Gärprozeß entstehenden Gasblasen.

Trennvorgänge wie Flotieren, verursacht durch Anlagerung von Gasblasen an Feststoffpartikel oder durch Gasbildung und -einschluß in Partikelhohlräumen sowie Aufschwimmen von Feststoffen, die gegenüber der kontinuierlichen Phase geringere Dichte aufweisen, können zur Bildung einer Schwimmschicht führen. Durch diese kann das geregelte Abfließen von Faulgut aus dem Reaktor behindert werden.

Darüber hinaus sammeln sich auf diese Weise im Faulraum anaerob nicht abbaubare Stoffe, was zu einer Verringerung des Reaktionsvolumens führt.

### 2.3 Betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Faktoren

Ausgehend von den örtlich vorgegebenen betriebstechnischen Randbedingungen

- Anfall von Flüssigmist nach Zusammensetzung, Menge und zeitlicher Verteilung,
- erzielbare Gasmengen,
- Energieeigenbedarf der Anlage,
- Zuordnung der Anlage zu Betriebsgebäuden,
- Verfügbarkeit von Bau- und Anlagenelementen,
- Gasnutzungsmöglichkeiten,
- Verwendung des Faulschlammes,

sind bei der Entscheidung, welcher der den biologischen und physikalischen Forderungen genügenden technischen Lösungsalternativen der Vorzug zu geben ist und welche Größe, Betriebsweise und Ausstattung der Anlage gewählt werden sollen, letztlich ökonomische Kriterien ausschlaggebend.

So kann im Hinblick auf ein besseres wirtschaftliches Gesamtergebnis im Einzelfall durchaus die Forderung zu erheben sein, die Anlage in technischer Hinsicht mit möglichst einfachen Mitteln auszustatten oder auf eine möglichst hohe Methanproduktion der Anlage zu verzichten.

### 3. Stand der Technik

Die Mehrzahl der in der Bundesrepublik installierten Anlagen arbeiten nach dem Durchflußprinzip mit weitgehender Durchmischung des Gärmediums. Sie haben das früher auf dem Markt der Fünfziger Jahre dominierende Wechselbehältersystem völlig verdrängt. Daneben werden in Sonderfällen auch nach dem Speicherverfahren arbeitende Anlagen eingesetzt. Der Grund für diese Entwicklung ist vornehmlich in einer Reduktion des Bauaufwandes beim Durchflußsystem gegenüber dem Wechselbehältersystem bei gleichzeitig höherer Leistungsabgabe zu sehen.

Zur weiteren Verringerung der Baukosten haben einige Hersteller bereits Anlagensysteme entwickelt, die jeweils nur auf ganz bestimmte Substratarten zugeschnitten sind. Man bezweckt damit, die zur Behandlung der jeweiligen Substrate erforderlichen technischen Maßnahmen auf ein Minimum zu reduzieren sowie auch mehrere verschiedene Funktionen wie Wärmeeintrag, Rückführung und Vermischung eines Teilstromes der aus dem Reaktor ausgewaschenen Mikroorganismen mit dem Frischsubstrat zu dessen Beimpfung und die Kontrolle der Schwimm- und Sinkschichten mit nur einem einzigen Aggregat zu bewältigen (vgl. Bild 1a).

Der technische Aufwand für eine sichere Durchleitung des Gärmediums durch den Reaktor und für eine kontrollierte, möglichst optimale Prozeßführung ergibt sich aus den jeweiligen Substrateigenschaften im Hinblick auf das Fließ- und Entmischungsverhalten und auf die mikrobielle und chemische Zusammensetzung des Substrats. Gemäß Tafel 1 lassen sich 5 Substratklassen definieren, die nahezu alle in der Praxis auftretenden Fälle abdecken.

Für Reaktoren mit vollständiger Durchmischung des Gärmediums können im Prinzip alle Behälterformen gewählt werden. Für deren Auswahl jedoch ist nicht nur der Aufwand für den Behälter selbst, sondern auch für die von der Behälterform wesentlich mitbestimmte Mischeinrichtung entscheidend.

Welche Mittel zum Bewegen des Fluids im Einzelfall eingesetzt werden sollen, hängt nicht nur von seinem Fließverhalten ab (Einfluß von z.B. Viskosität, Dichteunterschiede, Gasblasenauftrieb), sondern in starkem Maße auch von der Form und der Größe des jeweils zu erfassenden Raumes (Ort und Intensität des Impulseintrags, Impulsverteilung, Energiebedarf). Zu berücksichtigen sind ferner die Betriebssicherheit (Verstopfungsgefahr, Abrieb) und die Zugänglichkeit bei Wartung und Instandsetzung.

Zum Impulseintrag können die Gaseinpressung, mechanische Rührer, Pumpen oder auch die Bewegungsenergie eines von einem höheren Niveau freigegebenen Flüssigkeitsstromes in Frage kommen.

Die Gaseinpressung bietet den Vorteil, daß der Impulseintrag nahezu beliebig über einen Behälterquerschnitt verteilt werden kann. Da die Impulswirkung nur aufwärts gerichtet ist, eignet sich diese Methode in erster Linie zur Vermeidung von Absetzerscheinungen und zum Durchmischen von Fluiden, die keine oder nur sehr wenig zum Flotieren neigende Feststoffe enthalten.

Sind jedoch solche Stoffe in höherer Konzentration vorhanden, so ist dafür zu sorgen, daß diese von der Flüssigkeitsoberfläche wieder in tiefere Schichten gebracht werden. Hierzu sind entweder abwärtsgerichtete Strömungen erforderlich, die den Auftriebskräften entgegenwirken (Flüssigkeitsstrahl, Schlaufenströmung über Leitrohr und Propeller, hydraulische Umwälzung), oder die Schwimmstoffe werden mit mechanischen Mitteln in das Fluid eingemischt.

Da die Entmischungsneigung der Substratkomponenten mit abnehmendem Anteil an freiem Wasser zurückgeht, sind bei Substraten mit hohen Gehalten an Kolloiden und feinteiligen suspendierten Feststoffen (z.B. unverdünnter Rinderflüssigmist) weitaus weniger Probleme bezüglich Schwimmdeckenbildung zu erwarten als bei dünnflüssigen, grobstoffhaltigen Substraten (z.B. strohhaltiger, unverdünnter Rinder- oder Schweineflüssigmist).

Tafel 2 gibt eine Übersicht über charakteristische in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzte Reaktorbauarten (vgl. auch Bild 1 bis 6) sowie deren Eignung für die verschiedenen Substratarten.

#### 4. Entwicklungslinien

Die gegenwärtige Anlagenentwicklung ist durch eine konsequente weitere Anpassung der Reaktoren an die jeweiligen Substrateigenschaften gekennzeichnet. Allmählich setzt sich dabei u.a. die Erkenntnis durch, daß zur Bewältigung von Substraten der Klasse IV auf eine Einrichtung zur Reaktordurchmischung völlig verzichtet werden kann, ohne daß es hierdurch zu einer Leistungseinbuße kommt.

Neuere Reaktortypen mit höherer, volumenbezogener Leistungsabgabe (Umsatzleistung) - wie Festbett- oder Wirbelbettsysteme - sind gegenwärtig weder Stand der Technik noch zeichnen sich Entwicklungstendenzen in dieser Richtung ab. Für landwirtschaftliche Substrate befinden sie sich derzeit noch im Stadium der Forschung und Entwicklung.

Obgleich auch bei der Prozeßführung weitere Fortschritte zu erwarten und auch wünschenswert sind, um vor allem kürzere Gärzeiten und höhere Energieausbeuten aus dem Rohstoff zu erreichen, gilt inzwischen das Hauptinteresse bei der technischen Weiterentwicklung der Senkung der Investitionskosten.

Die Anlagenkosten liegen je nach Größe und Ausführung zwischen 1.000 bis 2.000 DM je an die Anlage angeschlossene GV (500 kg Lebensgewicht). Bei mesophil betriebenen Anlagen sind dies 1.000 - 2.000 DM/m<sup>3</sup> Faulraumvolumen. Im Hinblick auf eine weite Verbreitung des Verfahrens sowie gute Anlagenwirtschaftlichkeit sind 1.000 DM/m<sup>3</sup> anzustreben. Dieser Wert wird bereits verschiedentlich unterschritten.

Weitere Ansätze zur Kostenreduktion sind insbesondere bei Stallneubaumaßnahmen in Anlagenbauarten zu erkennen, die sich optimal in das Entmistungssystem integrieren lassen. Auch wird neuerdings auf Gas- oder Wärmespeicher verzichtet, da diese nicht wirtschaftlich arbeiten [9]. Dies setzt allerdings eine gute Regelung und Steuerung des Energieverbundes zwischen Anlage und Verbraucher voraus.

## 5. Anlagenplanung und Wirtschaftlichkeit

Wenn in zahlreichen Fällen der praktische Nutzen einer Anlage nicht den Erwartungen des Betreibers entsprach, so ist dies in der Regel auf eine ungenügende Planung zurückzuführen, bei der zu wenig auf eine sorgfältige Abstimmung von technischem Aufwand, Gasproduktionsleistung und Gasnutzungsgrad unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden betrieblichen Bedingungen geachtet wurde.

Die Komplexität der Zusammenhänge zwischen den zahlreichen Einflußgrößen, die bei der Planung einer Biogasanlage berücksichtigt werden müssen, wenn diese - unter Beachtung einer technisch-wirtschaftlichen Optimierung - als ökonomisch arbeitendes System einem landwirtschaftlichen Betrieb zugeordnet werden soll, zwingt zu einer systematischen Vorgehensweise bei der Planung. Hierfür stehen inzwischen geeignete Strategien und Rechenmodelle zur Verfügung [10]. Diese sind verhältnismäßig einfach zu handhaben und lassen sich z.T. in Tischrechnern einsetzen.

Zur Vordimensionierung einer Anlage kann man sich von den in Tafel 3 aufgeführten Bemessungswerten leiten lassen. Die in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht optimale Lösung läßt sich jedoch erst nach mehreren weiteren Iterationsschritten ermitteln.

Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsanalysen zeigen, daß die Biogaserzeugung aus tierischen Exkrementen unter den gegebenen betriebsstrukturellen und zu erwartenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen durchaus eine Bedeutung gewinnen kann, wenn eine leistungsfähige und kostengünstige, auf die jeweiligen Bedingungen abgestimmte Anlagentechnik bereitgestellt und nur unter solchen Betriebsbedingungen eingesetzt wird, die eine Wirtschaftlichkeit erwarten lassen [11].

Beachtet man diese Grundsätze nicht, so besteht die Gefahr, daß die Zukunftsperspektiven für das Biogasverfahren in der Landwirtschaft aufgrund der bei der Planung bisher errichteter Anlagen begangenen Fehler und der daraus resultierenden Fehlinvestitionen ungünstiger eingeschätzt werden, als sie es bei Berücksichtigung der tatsächlichen Möglichkeiten und Grenzen sind.

## Literatur

- [1] Winter, J. et al.: Biogaspotential, Prozeßstabilität und Hygienisierung bei der mesophilen und thermophilen Vergärung von Schlämmen. In: Baader (Hrsg.): 2. Biogasfachgespräch des Instituts für Technologie der FAL, S. 7-21, Braunschweig, 1983.
- [2] Baader, W., Kloss, R.: Assessment of biogas-installations in the Federal Republic of Germany. - Bericht zum EEC-Projekt ES-E-R-0151-D (N) für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Braunschweig, 1982.
- [3] Loll, U.: Technik und Ökonomie einer großen landwirtschaftlichen Biogasanlage. gwf-gas/erdgas, 124 (1983), Nr. 8, S. 395-398.
- [4] Perwanger, A.: Technische Neuentwicklungen landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Korrespondenz Abwasser 30 (1983), Nr. 6, S. 406-414.
- [5] Suttor, K.-H.: Musterhof Liebenau. Ergebnisbericht z. BMFT-Forschungsvorhaben ET 5319 d, Stiftung Liebenau, 1983.
- [6] Loll, U.: Biogasgemeinschaftsanlage Quickborn. Informationsbroschüre, 11 S., Darmstadt 1983.
- [7] Baader, W.: Erste Erfahrungen mit einem vollständig gefüllten, vertikal durchströmten Biogasgenerator. Grundlagen Landtechnik, 31 (1981), Nr. 2, S. 50-55.
- [8] Kopiske, G., Eggersgluß, H.: Psychrophile digestion systems in practice. In: BORDA (Hrsg.): Biogas-Forum (1983), Nr. 12, S. 1-4.
- [9] Geyer, U.: Untersuchungen zur wirtschaftlichen Energiespeicherung bei Biogasanlagen. Diplomarbeit. Fachhochschule Braunschweig-Wolfenbüttel, 1984.
- [10] Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen nach technisch-wirtschaftlichen Kriterien. In: Fortschritte beim Biogas, KTBL-Schrift 285 (1983), Landwirtschafts-Verlag Münster-Hiltrup, S. 110-119.
- [11] Kleinhanß, W.: Wirtschaftliche Möglichkeiten und Grenzen der Biogaserzeugung. In: Fortschritte beim Biogas, KTBL-Schrift 285 (1983), Landwirtschafts-Verlag Münster-Hiltrup, S. 120-135.

### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baader,  
Dipl.-Ing. Rolf Kloss,  
Institut für Technologie,  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL)  
Bundesallee 50  
D-3300 Braunschweig  
Telefon: (0531) 596-311



Tafel 1 : Klassifikation der wichtigsten Flüssigmistarten nach ihrem Fließverhalten im Faulbehälter

Klasse	Konsistenz	Neigung zur Bildung einer		Flüssigmistart
		Schwimmschicht	Sinkschicht	
I	dünnflüssig	gering	gering	Schweine- und Kälberflüssigmist unverdünnter Rinder- und Bullenflüssigmist ohne Stroh
II	dünnflüssig	stark	gering	Schweineflüssigmist mit Stroh Rinderflüssigmist mit Stroh
III	dünnflüssig	gering	stark	verdünnter Hühnerflüssigmist
IV	dickflüssig	keine	gering	unverdünnter Rinder- und Bullenflüssigmist ohne Stroh
V	dickflüssig	gering	gering	unverdünnter Rinder- und Bullenflüssigmist mit Stroh

Tafel 2 : Bauarten von Reaktoren landwirtschaftlicher Biogasanlagen und deren Eignung für verschiedene Substrate (vgl. Tafel 1)

Reaktortyp	Umwälzsystem	Beispiele (Hersteller) <sup>1)</sup>	Eignung für Substrat Klasse
stehender Tank	Gaseinpressung, ohne Leitrohr	Steinmann u. Ittig [3] GAE [4]	I, IV
	Gaseinpressung, mit Leitrohr	Henze-Harvestore (Bild 2) [2] Agro-Fermenttechnik [5]	I, IV
	hydraulisch	Agro-Fermentt. (Bild 1 a) [2] WLZ (Bild 1 b) [2] Ökotherm (Bild 1 c) [2]	I, III, IV
		Gebken [2] Müller (Wallner) [4] Barth [6]	I, IV
	hydraulisch, stoßweiser Rückfluß von zuvor durch Gasdruck auf höheres Niveau gebrachter Flüssigkeit	BVT/Manahl (Bild 3) [2]	I, III <sup>2)</sup> , IV
	mechanisch, mit Leitrohr	FAL (Bild 4) [7]	I, II, III, IV, V
	ohne Umwälzung	Böse (Bild 5) [2]	IV
liegender Tank	mechanisch	Lipp (Bild 6 a) [2] FIMA [5, 6]	I, II, III, IV, V
		Ökoplan (Bild 6 b) [2]	I, II, IV, V
		Steinmann u. Ittig [6] Probst [4]	I, IV
	ohne Umwälzung	UTEC [8]	IV

1) Stand Ende 1982 gemäß [2]

2) Ausführung mit Sinkschlammabzug

**Tafel 3 :** Auslegung beheizter Reaktoren mit ca. 100 m<sup>3</sup> Faulrauminhalt bei typischen Rahmenbedingungen für den Nutzungsgrad  $n$  der bereitstellbaren Netto-Energie (Energieangebot) und Deckungsgrad  $d$  des Energiebedarfs von Verbrauchern (ohne Eigenbedarf der Anlage)

Rahmenbedingung	Auslegungsgrößen	Auslegung	
		Schweine-oder Hühnerflüssigmist mit und ohne Grünpflanzen	Rinderflüssigmist mit und ohne Stroh
A Energieangebot geringer als Energiebedarf $n = 1,0; d < 1,0$	Durchflußzeit	20	25 - 30
	Trockensubstanzgeh. entspr.einer auf TS bez.Raumbelastung	6 - 9	8 - 12
	Prozeßtemperatur	3 - 4,5	2,5- 5
	Wärmedurchgangszahl	28 - 30	30 - 35
	a.Reakt.-Vol. bez. Reaktoroberfläche	0,2 - 0,3	0,2- 0,3
	min.Frischsubstrat-Temperatur	möglichst klein	möglichst klein
	Substratdurchsatz	15	5
		voll	voll
B Energieangebot gleich Energiebedarf $n = 1,0; d = 1,0$	wie unter A		
C Energieangebot größer als Energiebedarf a) $0,9 < n < 1,0; d = 1,0$ b) $n < 0,9; d = 1,0$ c) $n \ll 0,9; d = 1,0$	wie unter A wie unter A, oder bereits kürzere Durchflußzeit wie unter A, oder zusätzlich Teilstromdurchfluß geringere bzw. keine Wärmedämmung des Raktors		
1) Energieangebot und Energiebedarf zeitweilig wechselseitig ungleich a) $0,6 \leq n < 1,0; 0,85 \leq d < 1,0$ b) $n \ll 0,6; d \ll 0,85$	wie unter A wie unter C,c)		

1) Die Auslegungshinweise in Fall D gelten nur, wenn der Energiebedarf überwiegend aus der Gebäudeheizung resultiert.

Tafel 4: Methanertrag aus der Trockensubstanz (TS) der Zugabe in Abhängigkeit von der Durchflußzeit unter den Auslegungsbedingungen von Tafel 3, Fall A

Substratart	Durchflußzeit d	auf TS bez. Methanmenge l/kg
Schweineflüssigmist	20	200
Hühnerflüssigmist	20	200
Grünpflanzen	20	200
Rinderflüssigmist	30	160
Stroh	30	160

## Bildunterschriften

Bild 1a:

Hauptströmungsrichtung abwärts mit vollständiger Umwälzung, 50 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen. Wärmeeintrag über einen zentral angeordneten Doppelmantelrohrwärmetauscher (Bauart Agro-Ferment-technik)

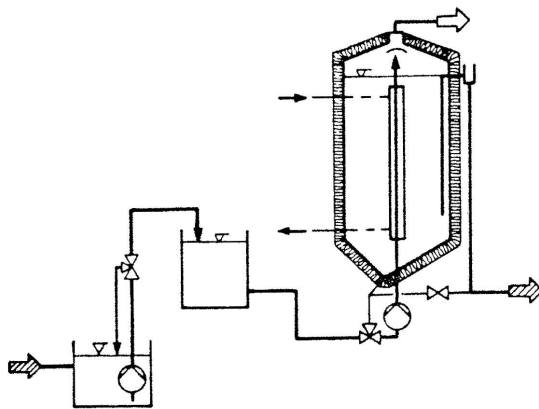


Bild 1b:

Hauptströmungsrichtung abwärts mit teilweiser Umwälzung, 120 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag mittels großflächig im Faulrauminneren angebrachter Heizplatten (Bauart WLZ)

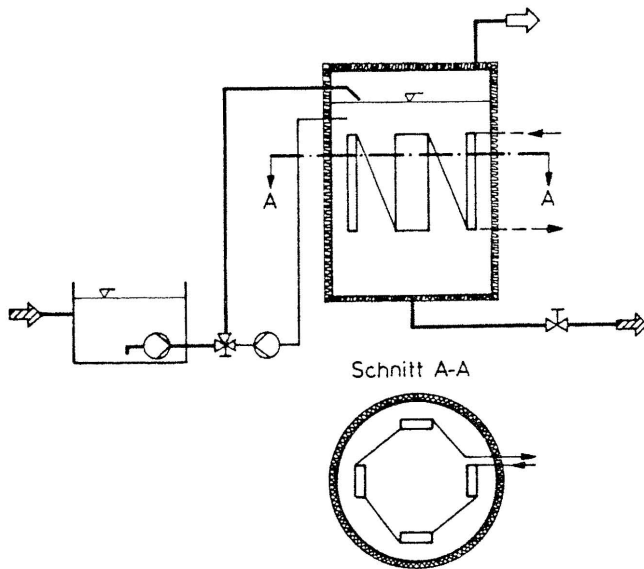


Bild 1c:

Aufwärts durchströmter Innenzylinder, abwärts durchströmter Außenzylinder mit vollständiger Umwälzung, 95 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag über wendelartig an den Mantelflächen angebrachten Heizschlangen (Bauart Ökotherm)

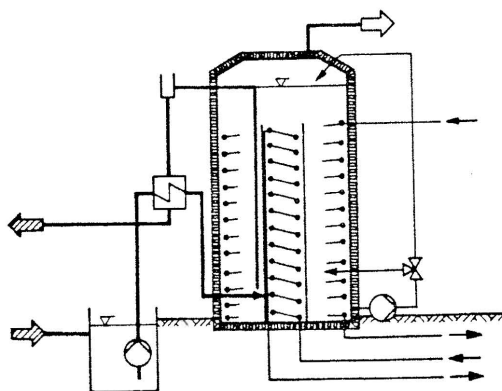
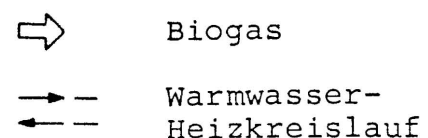
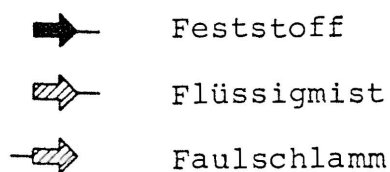


Bild 1: Vertikal durchströmte Reaktoren mit hydraulischer Umwälzung



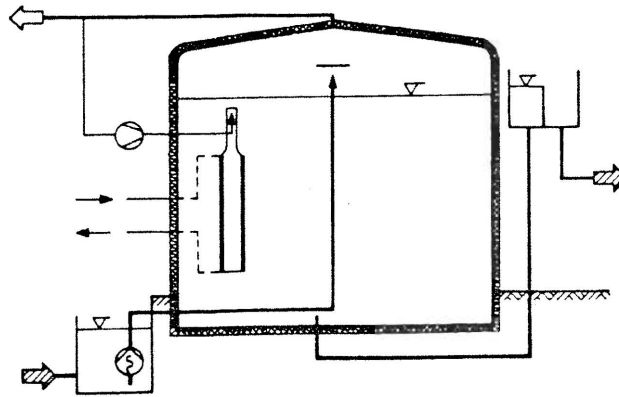


Bild 2: In vertikaler Hauptrichtung abwärts durchströmter Reaktor mit Umwälzung des Faulrauminhaltendes durch Gaseinpressung über drei Mammutpumpen, deren Leitrohr als Wärmeaustauscher ausgebildet ist; Reaktionsvolumen 490 m<sup>3</sup> (Bauart Henze-Harvestore)

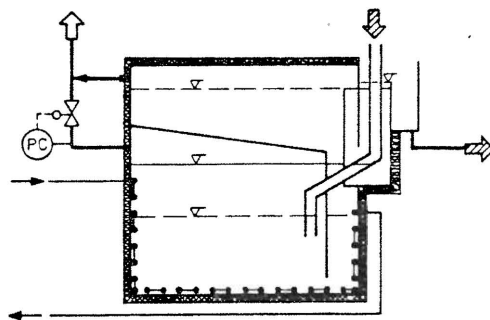


Bild 3: In drei Kammern untergliederter Faulbehälter mit einer durch periodischen Gasdruckausgleich zwischen den verschiedenen Kammern induzierten Umwälzung, Reaktionsvolumen 250 m<sup>3</sup>, Wärmeeintrag über im Bereich der benetzten Wandflächen der Hauptgärkammer in der Wandung verlegte Heizschlangen (Bauart BVT/Manahl)

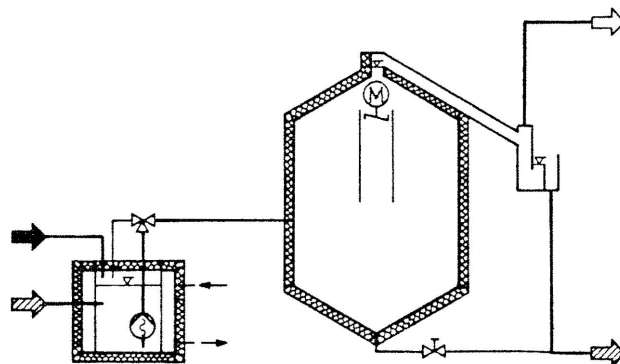


Bild 4: In vertikaler Hauptrichtung aufwärts durchströmter, vollständig gefüllter Reaktor mit teilweiser Umwälzung während der Zugabe über abwärts fördernden Propeller, Reaktionsvolumen 100 m<sup>3</sup>, Wärmeeintrag in Vorgrube (Bauart FAL)



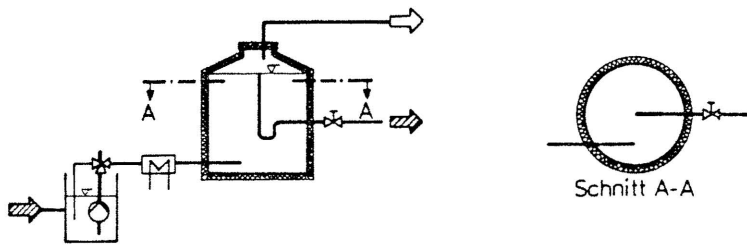


Bild 5: In vertikaler Hauptrichtung aufwärts durchströmter <sup>3</sup>Reaktor ohne Rührvorrichtung, Reaktionsvolumen 20 m<sup>3</sup>, Wärmeeintrag durch Vorerwärmung in einem der Anlage vorgeschalteten Doppelmantelrohrwärmetauscher (Bauart Böse)

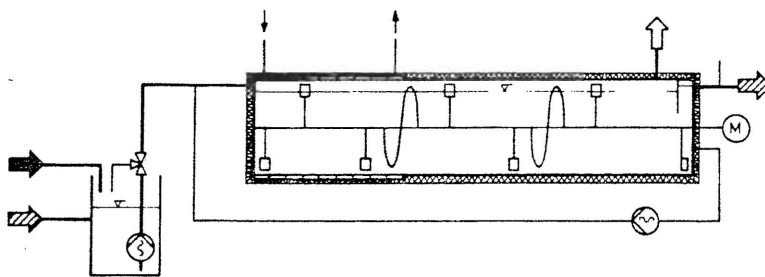


Bild 6a:

Paddelrührwerk mit schraubenförmigen Flächen zur Raumteilung in 3 Kammern, 62 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag im ersten Drittel des Einlaufbereichs der Anlage durch eine doppelwandige, spiralförmig durchflossene Mantelinnenfläche. Schlammrückführung, Rührfrequenz 1,5 U/min (Bauart Lipp)

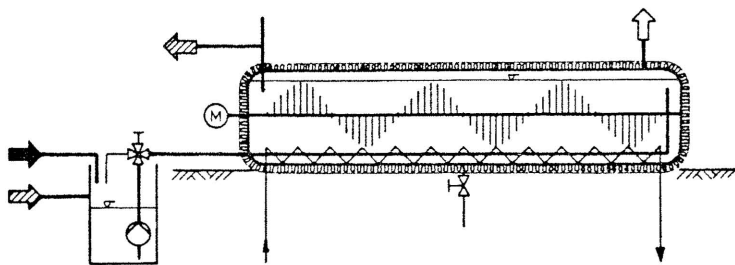


Bild 6b:

Stabwendelrührwerk, 60 m<sup>3</sup> Reaktionsvolumen, Wärmeeintrag mit Vorerwärmung des Substrates über schlaufenartig im Reaktorbodenbereich angeordnete Heizschlangen, Rührfrequenz 3 U/min (Bauart Ökoplan/Hemme)

Bild 6: Horizontal durchströmte Reaktoren mit langsam rotierendem mechanischen Rührwerk